

BEST AVAILABLE COPY

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-186205

(43)Date of publication of application : 09.07.1999

(51)Int.Cl.

H01L 21/304

H01L 21/00

H01L 21/027

(21)Application number : 09-354287

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 24.12.1997

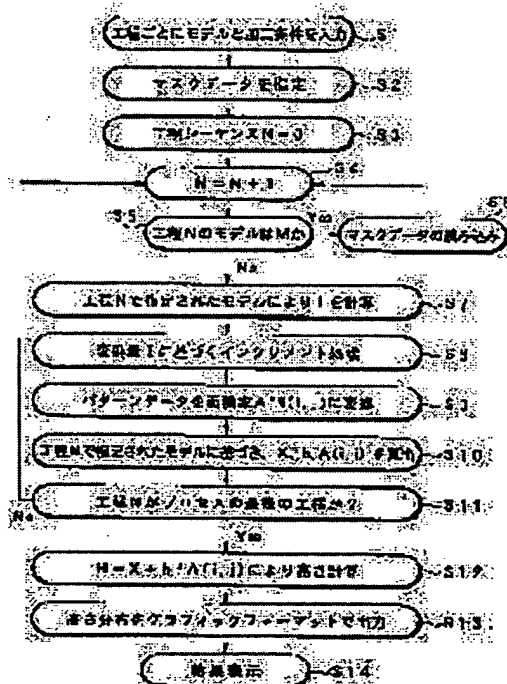
(72)Inventor : TAKAHASHI HIROSHI

## (54) SIMULATION METHOD FOR PROCESSED SURFACE HEIGHT

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method of simulating height distribution of a processed surface, which is capable of calculating pattern density dependence of chemical- mechanical polishing, wherein information of all consecutive work processes is taken into account by simplifying the data in terms of a single numerical value, called increment quantity, and reflecting them to area ratio.

**SOLUTION:** Increment quantity  $I$  given by a process flow is added sequentially to mask data, changing graphic information. Sign and order of the increment are changed in accordance with the process flow. In this way, processing for the increment is performed up to a process specified by the flow (S1-S8). Next, area ratio distribution of the mask is calculated. This is performed by finding total area of figures existing in a specified range based on the graphic information of the patterning expressed by the mask data (S9), and outputting the data that correlate coordinate and area ratio. Then, area ratio after the processes is given, and final data for the area ratio are obtained (S10). Once the area ratio is found, numerical data for the height are obtained almost simultaneously (S12).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-186205

(43)公開日 平成11年(1999)7月9日

(51)Int.Cl.<sup>9</sup>

H 0 1 L 21/304

識別記号

6 2 2

F I

H 0 1 L 21/304

6 2 2 Z

6 2 2 S

21/00

21/00

21/027

21/30

5 0 2 G

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 14 頁)

(21)出願番号

特願平9-354287

(22)出願日

平成9年(1997)12月24日

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72)発明者 高橋 洋

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

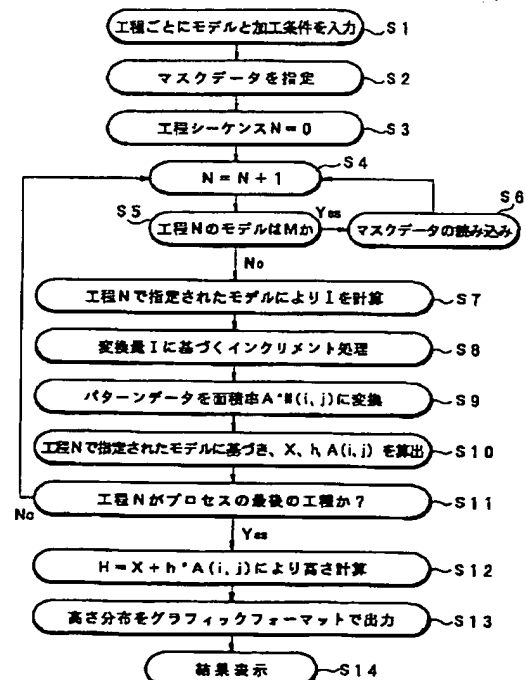
(74)代理人 弁理士 船橋 國則

(54)【発明の名称】 加工表面高さのシミュレーション方法

(57)【要約】

【課題】 成膜やエッチングによる加工面形状のデータをCMPによる平坦化のシミュレーションに取り込む事が出来ない。

【解決手段】 複数のプロセスステップより成り立ち、各プロセスステップごとに、計算モデル及び加工条件を与える第1工程と、前記プロセスステップで与えられた前記計算モデル及び加工条件に基づいて露光マスクによって形成されるレジストパターンの幅を変更する第2工程と、前記露光マスクのデータ存在領域を一定サイズのメッシュに分割して各分割領域(i, j)を得る第3工程と、前記各分割領域(i, j)におけるパターンの占める割合A\*(i, j)を求める第4工程と、前記与えられた計算モデル及び加工条件と前記割合A\*(i, j)から膜厚X、段差h、実行面積率A(i, j)及び側壁傾斜角θを求める第5工程と、下記式(1)に基づいて高さH(i, j)を求める第6工程とを行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体装置の製造工程において、下地面に加工処理を施してなる加工表面の高さ分布を計算するシミュレーション方法であって、  
 複数のプロセスステップより成り立ち、  
 前記各プロセスステップごとに、  
 計算モデル及び加工条件を与える第1工程と、  
 前記プロセスステップで与えられた前記計算モデル及び加工条件に基づいて、露光マスクによって形成されるレジストパターンの幅を変更する第2工程と、  
 前記露光マスクのデータ存在領域を一定サイズのメッシュに分割して、各分割領域(i, j)を得る第3工程と、  
 前記各分割領域(i, j)におけるパターンの占める割合 $A^*(i, j)$ を求める第4工程と、  
 前記与えられた計算モデル及び加工条件と前記割合 $A^*(i, j)$ から、膜厚X、段差h、実行面積率 $A(i, j)$ 及び側壁傾斜角 $\theta$ を求める第5工程と、  
 下記式(1)に基づいて、高さ $H(i, j)$ を求める第6工程とを行うことを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

## 【数1】

$$H(i, j) = X + h \times A(i, j) \cdots (1)$$

【請求項2】 請求項1記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、  
 前記プロセスモデルとして、リソグラフィ、レジストマスクを用いたドライエッチング、化学機械研磨、全面エッチング、通常CVD、バイアスCVD及び塗布膜の少なくとも7種類のモデルを定義し、これらの1つをプロセスモデルとして選択することによって計算を行うこ

$$I = Y_N \times \cot \theta_N / 2 \cdots (2)$$

$Y_N$  : エッチング膜厚

$\theta_N$  : 第Nステップで指定された側壁傾斜角

(ただし、第N番目のステップのプロセスモデルがレジストをマスクに用いたドライエッチングであるとき、本ステップで用いられるマスクデータは第N-1ステップで新規に書き換えられたものである。)

【請求項6】 請求項4記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、  
 前記プロセスモデルが化学機械研磨である場合、  
 前記第2-1工程で数値Iを与える方法として、下記式(3)に基づいて数値Iを決定することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

## 【数3】

$$I = 0 \cdots (3)$$

とを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

【請求項3】 請求項2記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、  
 前記プロセスモデルとして選択されたモデルがリソグラフィである場合、指定されたマスク名のものにマスクデータを書き換えて次のプロセスステップへ移行することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

【請求項4】 請求項1記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、  
 前記第2工程のレジストパターンの幅を変更する方法として、  
 数値Iを与える第2-1工程と、  
 全てのパターンを正方形を含む矩形に分割する第2-2工程と、  
 分割されたそれぞれの矩形の重心座標を固定して角辺の長さを前記数値Iの2倍だけ増加させる第2-3工程と、  
 前記矩形同士の重なり部分を面積の小さい矩形から除去する第2-4工程と、  
 得られる全ての図形より新たなパターンデータを形成する第2-5工程とを行うことを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

【請求項5】 請求項4記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、  
 前記プロセスモデルがレジストマスクを用いたシミュレーションである場合、  
 前記第2-1工程で数値Iを与える方法として、下記式(2)に基づいて数値Iを決定することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

【請求項7】 請求項4記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、  
 前記プロセスモデルが全面エッチングである場合、  
 前記第2-1工程で数値Iを与える方法として、下記式(4)に基づいて数値Iを決定することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

## 【数2】

## 【数4】

$$I = -2r \times Z_N \times \cos \theta_{N-1} \dots (4)$$

$r$  : スパッタ／エッチ比

$Z_N$  : エッチング膜厚

$\theta_{N-1}$  : 第 $N-1$ ステップにおける側壁傾斜角

(ただし、第 $N$ 番目のステップのプロセスモデルが全面エッチングである場合とする。)

【請求項8】 請求項4記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、  
前記プロセスモデルが通常CVDである場合、  
前記第2-1工程で数値 $I$ を与える方法として、下記式

$$I = (-X_N + Y_{N-1} / 2) \times \cot \theta_N \dots (5)$$

$$I = 0 \dots (6)$$

$X_N$  : デポ膜厚

$Y_{N-1}$  : 第 $N-1$ 工程がレジストマスクを用いたドライエッチングであった場合におけるエッチ量

$\theta_N$  : 第 $N$ 工程で指定された側壁傾斜角

(ただし、第 $N$ 番目のステップのプロセスモデルが通常CVDであり、 $N-1$ 工程がレジストを用いたドライエッチングである場合には上記式(5)が選択され、それ以外の場合には上記式(6)が選択される。)

【請求項9】 請求項4記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、  
前記プロセスモデルがバイアスCVDである場合、  
前記第2-1工程で数値 $I$ を与える方法として、下記式

$$I = X_N \times p \times \sin \theta_{N-1} / (1 + \cos \theta_{N-1}) \dots (7)$$

$X_N$  : デポ膜厚

$p$  : 被覆係数

$\theta_{N-1}$  : 第 $N-1$ ステップにおける側壁傾斜角

(ただし、第 $N$ 番目のステップのプロセスモデルがバイアスCVDである場合とする。)

【請求項10】 請求項4記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、  
前記プロセスモデルが塗布膜である場合、  
前記第2-1工程で数値 $I$ を与える方法として、下記式(8)に基づいて数値 $I$ を決定することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

【数7】

$$I = 0 \dots (8)$$

【請求項11】 請求項2記載の加工表面高さのシミュ

(5) 及び下記式(6)に基づいて数値 $I$ を決定することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

【数5】

(7) に基づいて数値 $I$ を決定することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

【数6】

レーション方法において、  
前記プロセスモデルとして選択されたモデルがレジストマスクを用いたドライエッチングである場合、  
前記膜厚 $X$ を下記式(9)、前記段差 $h$ を下記式(10)、前記実行面積率 $A(i, j)$ を下記式(11)、前記側壁傾斜角 $\theta$ を下記式(12)に基づいて決定することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

【数8】

$$X = X_{N-2} - Y_N \cdots (9)$$

$$h = h_{N-2} + Y_N \cdots (10)$$

$$A(i, j) = \{A_N^*(i, j) \times Y_N + A_{N-2}(i, j) \times h_{N-2}\} / (Y_N + h_{N-2})$$

… (11) ”

$$\theta = \theta_N \cdots (12)$$

$X_{N-2}$  : 第N-2ステップにおける膜厚

$Y_N$  : エッチング膜厚

$h_{N-2}$  : 第N-2ステップにおける段差

$A_N^*(i, j)$  : 本ステップで計算された各分割領域におけるパターン比率

$A_{N-2}(i, j)$  : 第N-2ステップにおけるマスク面積率

$\theta_N$  : 第Nステップで指定された側壁傾斜角

(ただし、第N番目のステップでプロセスモデルとしてレジストをマスクに用いたドライエッチングが選択された場合であることとする。)

【請求項12】 請求項2記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、  
前記プロセスモデルとして選択されたモデルが化学機械研磨である場合、  
前記膜厚Xを下記式(13)、前記段差hを下記式(1

4)、前記実行面積率A(i, j)を下記式(15)及び下記式(16)、前記側壁傾斜角θを下記式(17)に基づいて決定することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。  
【数9】

$$X = X_{N-1} - Z_N \cdots (13)$$

$$h = h_{N-1} \cdots (14)$$

$$A_{N-1}(n)(i, j) = \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-m}^m A_{N-1}(n-1)(i+k, j+l) \cdot (n=1, 2, 3 \cdots) \cdots (15)$$

$$A(i, j) = A_{N-1}(0)(i, j) \times \{1 - \exp(-Z_0 \times q)\} + A_{N-1}(n)(i, j) \exp(-Z_0 \times q) \cdots (16)$$

$$\theta = 0 \cdots (17)$$

$X_{N-1}$  : 第N-1ステップにおける膜厚

$Z_N$  : エッチング膜厚

$h_{N-1}$  : 第N-1ステップにおける段差

$A_{N-1}(0)(i, j)$  : 第N-1ステップにおける面積率

$q$  : 弾性係数

$m$  : 平均化距離

$n$  : 平均化回数

(ただし、第N番目のステップでプロセスモデルとして化学機械研磨が選択された場合であることとし、上記式(15)で得られた $A_{N-1}(n)(i, j)$ を上記式(16)に代入する。)

【請求項13】 請求項2記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、  
前記プロセスモデルとして選択されたモデルが全面エッチングである場合、  
前記膜厚 $X$ を下記式(18)、前記段差 $h$ を下記式(1

9)、前記実行面積率 $A(i, j)$ を下記式(20)、  
前記側壁傾斜角 $\theta$ を下記式(21)に基づいて決定することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

【数10】

$$X = X_{N-1} - Z_N \cdots (18)$$

$$h = h_{N-1} \cdots (19)$$

$A(i, j)$  :  $A_{N-1}(i, j)$ の式中の $A_{N-1} * (i, j)$ を $A_N * (i, j)$ に置き換える。

$\cdots (20)$

$$\theta = \theta_{N-1} \cdots (21)$$

$X_{N-1}$  : 第N-1ステップにおける膜厚

$Z_N$  : エッチング膜厚

$h_{N-1}$  : 第N-1ステップにおける段差

$A_{N-1}(i, j)$  : 第N-1ステップにおける面積率

$\theta_{N-1}$  : 第N-1ステップにおける側壁傾斜角

$A_N * (i, j)$  : 本ステップで計算された各分割領域におけるパターン比率

(ただし、第N番目のステップでプロセスモデルとして全面エッチングが選択された場合であることとする。)

【請求項14】 請求項2記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、

前記プロセスモデルとして選択されたモデルが通常CVDである場合、

前記膜厚 $X$ を下記式(22)、前記段差 $h$ を下記式(2

$$X = X_N + X_{N-1} \cdots (22)$$

$$h = h_{N-1} \cdots (23)$$

$A(i, j)$  :  $A_{N-1}(i, j)$ の式中の $A_{N-1} * (i, j)$ を $A_N * (i, j)$ に置き換える。

$\cdots (24)$

$$\theta = \theta_N \cdots (25)$$

$X_N$  : デポ膜厚

$X_{N-1}$  : 第N-1ステップにおける膜厚

$h_{N-1}$  : 第N-1ステップにおける段差

$A_{N-1}(i, j)$  : 第N-1ステップにおける面積率

$A_N * (i, j)$  : 本ステップで計算された各分割領域におけるパターン比率

$\theta_N$  : 第N工程で指定された側壁傾斜角

(ただし、第N番目のステップでプロセスモデルとして通常CVDが選択された場合であることとする。)

【請求項15】 請求項2記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、

前記プロセスモデルとして選択されたモデルがバイアスCVDである場合、

前記膜厚 $X$ を下記式(26)、前記段差 $h$ を下記式(2

3)、前記実行面積率 $A(i, j)$ を下記式(24)、前記側壁傾斜角 $\theta$ を下記式(25)に基づいて決定することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

【数11】

7)、前記実行面積率 $A(i, j)$ を下記式(28)、前記側壁傾斜角 $\theta$ を下記式(29)に基づいて決定することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

【数12】

$$X = X_N + X_{N-1} \cdots (26)$$

$$h = h_{N-1} \cdots (27)$$

$A(i, j)$  :  $A_{N-1}(i, j)$ の式中の $A_{N-1} \cdot (i, j)$ を $A_N \cdot (i, j)$ に置き換える。

$\cdots (28)$

$$\theta = \theta_{N-1} \cdots (29)$$

$X_N$  : デポ膜厚

$X_{N-1}$  : 第N-1ステップにおける膜厚

$h_{N-1}$  : 第N-1ステップにおける段差

$A_{N-1}(i, j)$  : 第N-1ステップにおける面積率

$A_N \cdot (i, j)$  : 本ステップで計算された各分割領域におけるパターン比率

$\theta_{N-1}$  : 第N-1ステップにおける側壁傾斜角

(ただし、第N番目のステップでプロセスモデルとしてバイアスCVDが選択された場合であることとする。)

【請求項16】 請求項2記載の加工表面高さのシミュレーション方法において、  
前記プロセスモデルとして選択されたモデルが塗布膜である場合、  
前記膜厚 $X$ を下記式(30)、前記段差 $h$ を下記式(3

$$X = X_N + X_{N-1} \cdots (30)$$

$$h = h_{N-1} \cdots (31)$$

$$A(i, j) = A_{N-1}(i, j) \cdots (32)$$

$$\theta = 0 \cdots (33)$$

$X_N$  : デポ膜厚

$X_{N-1}$  : 第N-1ステップにおける膜厚

$h_{N-1}$  : 第N-1ステップにおける段差

$A_{N-1}(i, j)$  : 第N-1ステップにおける面積率

(ただし、第N番目のステップでプロセスモデルとして塗布膜が選択された場合であることとする。)

1)、前記実行面積率 $A(i, j)$ を下記式(32)、  
前記側壁傾斜角 $\theta$ を下記式(33)に基づいて決定することを特徴とする加工表面高さのシミュレーション方法。

【数13】

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は基板上に形成された凹凸を平坦化する工程を含む半導体素子作製工程において、平坦度を予測するシミュレーション技術に属する。

【0002】

【従来の技術】これまで基板上に形成された凹凸を平坦化する工程を予測するシミュレーションにはデポ(成膜)とエッチングとを組み合わせたもの(従来技術

1)、CMP(chemical mechanical polishing:化学機械研磨)単独で評価するもの(従来技術2)との2つが存在していた。

【0003】従来技術1は、主に凹凸パターンの側壁に膜が堆積するレートと凹凸パターンの表面をエッチングするレートとの比から、表面形状がどのように変化していくかをモニターするものである。一方、従来技術2は、凹パターンと凸パターンとの面積比からCMP後の表面高さを予測するものである。CMPは、マスク上の



パターン疎密に極めて平坦化特性が影響を受けやすいプロセスであるため、シミュレーションで平坦度を予測しマスクデータの段階で問題点を除去しなければ、最適な加工条件を得ることが困難であることが実証されており、この分野の技術の重要性はますます高まりつつある。

【0004】一方、CMPが半導体素子形成プロセスとして一般化していくにつれ、デボやエッチ（エッチング）の形状が、CMPの平坦化形状にも重要な影響を与えることが明らかになりつつある。これはCMPの平坦化特性がマスク上の凹凸比ではなく、加工前の表面凹凸比によって決定されることに起因している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】こうした要請からデボやエッチの形状データを平坦化特性の判定に取り込むものとする努力がなされている。しかしながら、デボやエッチ形状は最大半径数 $\mu\text{m}$ の範囲までしか相互の影響が及ばないのに対し、CMPの場合は半径数1000 $\mu\text{m}$ まで相互に影響し合う。デボやエッチの形状データを正確に取り扱うためには、少なくとも最小グリッド単位（0.1 $\mu\text{m}$ 角）ごとにデータを計算し、それを数1000 $\mu\text{m}$ 離れた全ての点に反映させることが必要になる。このため、両者の計算を精度良く行いつつ3次元形状を予測することは、無限に増加したデータの計算処理を行うことになり、実行は不可能であった。

【0006】本発明は、連続する全ての加工工程の情報を取り入れた上で、CMPのパターン密度依存性を計算することが可能な加工表面高さのシミュレーション方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための本発明は、デボやエッチングの情報をシミュレーションに取り入れる場合、データをインクリメント量というたった1つの数値の形に単純化した上で、面積率に反映させることを特徴としている。これによって、少ないデータ量のまま全ての計算が実行される。

【0008】

【発明の実施の形態】以下、本発明のシミュレーション方法を適用した実施の形態を説明する。図1には本発明の計算を行うフローを示し、計算を実行するのに必要な情報は、工程ごとのプロセス条件を表すデータチャート（図2）とマスクレイヤー情報を示すデータシート（図3）にまとめた。ただし、図2のデータチャートにおいては、実際には各変数に数値が入力されることとする。尚、以下の実施形態におけるプロセスモデルでは、リソグラフィをモデルM、レジストマスクを用いたドライエッチングをモデルE1、化学機械研磨をモデルE2、全面エッチングをモデルE3、通常CVDをモデルD1、バイアスCVDをモデルD2、塗布膜をモデルD3と記載する。

【0009】これらの図に示すように、マスクデータにはプロセスフローで与えられたインクリメント量I（すなわち請求項に示す数値I）が順番に加えられ、図形情報が変更される。インクリメントの符号や順番は極めて重要であり、プロセスフローにしたがって変えていかなければならない。こうしてフローで指定された工程までのインクリメント処理が行われる（S1～S8）。

【0010】次に、マスクの面積率分布が計算される。これは、マスクデータで表されたパターンニングの図形情報を元に、指定された範囲内に存在する図形の面積の合計を求め（S9）、座標と面積比を対応させたデータ列として出力するものである。この出力結果を図4に示す。

【0011】さらに、図2の最右列に示された面積率の演算式を元に、工程後の面積率が与えられる。工程が進むにつれて複数のインクリメントあるいは、複数のレイヤーのマスクが重ねられる（S4～S11）。こうして最終的な面積率のデータが得られる（S10）。膜厚と段差のデータは単純な四則演算により求められるので、面積率さえ求めれば、高さの数値データはほぼ同時に得られる（S12）。この結果は表示用ツールのフォーマットに書き換えられ出力される（S13）。結果は、例えば高さのデータマップとして、図5の様に表示される。

【0012】次に、パターンインクリメントとは、何か、何のために行うのか、について説明する。図6～図11は、本発明のシミュレータが定義する6種類の工程モデルの説明である。これらの図面はパターンの断面模式図を示している。マスクデータは最初の加工を行う際のレジストマスクの存在する領域を示しており、図6の斜線部（すなわち、レジストマスク）のような幅の領域を示している。ところが、加工が進むにつれて、図7の様にパターン表面の凹凸は初期のレジストマスクの形状から大きくずれることになる。このずれの大きさを数値で表したものがインクリメント量Iである。図7の様に凸パターンが太くなる方向では、インクリメントの値が正となり、図8の様に細くなる方向では負となるように定義する。

【0013】ここで、図6に示すように、モデルE1（マスクを用いたドライエッチング）においては、プロセスパラメータとしてエッチング膜厚 $Y_0$ 、側壁傾斜角 $\theta$ を用い、下地の側壁傾斜角に関係なく側壁傾斜角を $\theta$ に変更し、インクリメント量 $I = Y_0 \times \cot \theta / 2$ を算出する。また、下地の高さ(height)がY、面積率がAであったとすると、深さ(thickness)が $Y_0$ だけ減少し、高さ(height)が $Y_0$ だけ増加する。また、面積率(Area ratio)は直前の面積率Aとこの層(layer)の面積率 $A_0$ とを線形結合して求める。この結果、面積率(Area ratio)は、 $(A_0 - A) \times Y_0 / (Y_0 + Y)$ だけ増加することになる。

【0014】さらに、図7に示すように、モデルD1

(通常CVD: Chemical Vapor Deposition)、すなわちプラズマCVDや熱CVD等によるp-TEOS、O<sub>3</sub>-TEOS、SiH<sub>4</sub>-NSG等の成膜においては、プロセスパラメータとしてデポ膜厚X、被覆係数p (0 ≤ p ≤ 1)、下地側壁傾斜角θ (θ=90で基板と垂直)を用い、インクリメント量I = X × p × sin θ / (1 + cos θ) を算出する。また、側壁傾斜角は変化させず、深さ(thickness)はXだけ増加し、高さ(height)及び面積率(Area ratio)は変化無しとする。

【0015】また、図8に示すように、モデルD2 (バイアスCVD)、すなわちHDP (high density plasma) -CVD、Bias ECR (electron cyclotron resonance) -CVD、ICP (inductive coupled plasma) -CVD等においては、プロセスパラメータとしてデポ膜厚X、側壁傾斜角θを用いる。そして、下地側壁傾斜角が0の時、インクリメント量I = 0とし、側壁傾斜角も0のままとする。一方、下地側壁傾斜角が0以外の時には、側壁傾斜角をθに変更し、直前のパターンエッチ量をYとし、インクリメント量I = (-X + Y/2) × cot θ を算出する。そして、深さ(thickness)はXだけ増加し、高さ(height)及び面積率(Area ratio)は変化無しとする。

【0016】また、図9に示すように、モデルE2 (化学機械研磨: CMP) においては、プロセスパラメータとしてエッチング膜厚Z0、係数q = 弾性係数E / 研磨圧力P (ただし、単位はnm<sup>-1</sup>)を用い、平均化範囲m、平均化回数nとし、下地の側壁傾斜角に関係なく側壁傾斜角を0に変更し、インクリメント量=0を算出する。そして、深さ(thickness)はZ0だけ減少し、高さ(height)は変化無しとする。面積率(Area ratio)は以下の方法で平均化処理を行う。下地の面積率がA(0) (i, j)であったとすると、下記式(34)に示す漸化式を用いた計算をn回繰り返して、A(n)を得る。この結果、面積率(Area ratio)は、{A(n) - A(0)} × {1 - exp(-Z0 × q)} だけ増加することになる。

【数14】

$$A(n)(i, j) = \sum_{k=-m}^m \sum_{l=-m}^m A(n-1)(i+k, j+l) \dots (34)$$

【0017】そして、図10に示すように、モデルE3 (全面エッチング) においては、プロセスパラメータとしてエッチング膜厚Z0、下地の側壁傾斜角θ、スパッタ/エッチ比rを用い、インクリメント量 = -2r × Z0 × cos θ を算出する。また、側壁傾斜角は変化させず、深さ(thickness)はZ0だけ減少し、高さ(height)及び面積率(Area ratio)は変化無しとする。

【0018】さらに、図11に示すように、モデルD3 (塗布膜)、すなわちSOG等においては、プロセスパラメータとしてデポ膜厚X0を用いる。そして、インクリメント量I = 0、側壁傾斜角 = 0、深さ(thickness)はX0だけ増加し、高さ(height)及び面積率(Area ratio)

o)は変化無しとする。

【0019】次に、図12を用いて、インクリメントの2次元的な効果について説明する。図12(1)に示すように、パターンが単純な直線形状をなす場合、インクリメント量Iは単位周辺長当たりの面積変化量と捕らえることができる。しかしながら、図12(2)の様にパターンが折れ曲がっている場合では、インクリメントによってできるはずの領域に重なりを生ずるため、インクリメント量Iと面積変化量は必ずしも比例しない。もし、図12(3)の様に全ての境界線が重なってしまった場合は境界線そのものを消滅させてしまうことになる。これらの処理を行うためには、全てのパターン図形を矩形(長方形もしくは正方形)に分割した上で、両辺をそれぞれ2×Iだけ伸長させた後、オーバーラップ部分を小さい方の矩形から除去するという処理を施したマスクデータを求めれば良い。

【0020】また、図13を用いてインクリメント方法を説明する。図13(1)に示すように、全てのパターンを正方形を含む矩形に分割する。次に、図13(2)に示すように、分割されたそれぞれの矩形の重心座標を固定して角辺の長さをインクリメント量Iの2倍だけ増加させる。その後、図13(3)に示すように、矩形同士の重なり部分を面積の小さい矩形から除去する。このようにして、図13(4)に示すように、インクリメント処理が完了する。ただし、インクリメント量I ≤ 0である場合はパターンが細くなり、分割された矩形の辺の長さが負になった場合は矩形データは消滅することとする。

【0021】以上のように、マスクデータ上で境界線を移動することにより加工後の表面凹凸形状を表現すれば、細部における凹凸に関係なく、面積率を実際に近い形で変化させることが可能となる。本発明では、この考え方を用いてデボやエッチングにおける面積率の変化を補正し、加工形状の予測に応用している。

【0022】

【発明の効果】以上説明したように本発明の加工表面高さのシミュレーション方法によれば、連続する全ての加工工程の情報を取り入れて、CMPのパターン密度依存性を精度良く計算することが可能になる。従来技術で困難であったデボやエッチの情報を取り入れる方法は、データをインクリメント量というたった1つの数値の形に単純化した上で、面積率に反映させることにより、少ないデータ量のまま全ての計算を実行することができる。さらに、本発明のシミュレーション方法を応用することにより、実際のプロセスフローを元に、チップ内での層間膜厚のバラツキがコンタクトの最適エッチング時間に与える影響や、表面高さのばらつきが露光工程の焦点深度(DOF)に与える影響を事前に予測して対策を施すことが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態のシミュレーション方法を示す計算フローチャートである。

【図2】プロセス条件を示すデータチャートである。

【図3】マスクレイヤー情報である。

【図4】面積率データの出力結果である。

【図5】高さ分布データマップの出力結果の一例を示すグラフィックフォーマットである。

【図6】マスクを用いたドライエッチングにおけるインクリメント量の算出を説明する図である。

【図7】通常CVD工程におけるインクリメント量の算出を説明する図である。

【図8】バイアスCVDにおけるインクリメント量の算出を説明する図である。

【図9】化学機械研磨におけるインクリメント量の算出を説明する図である。

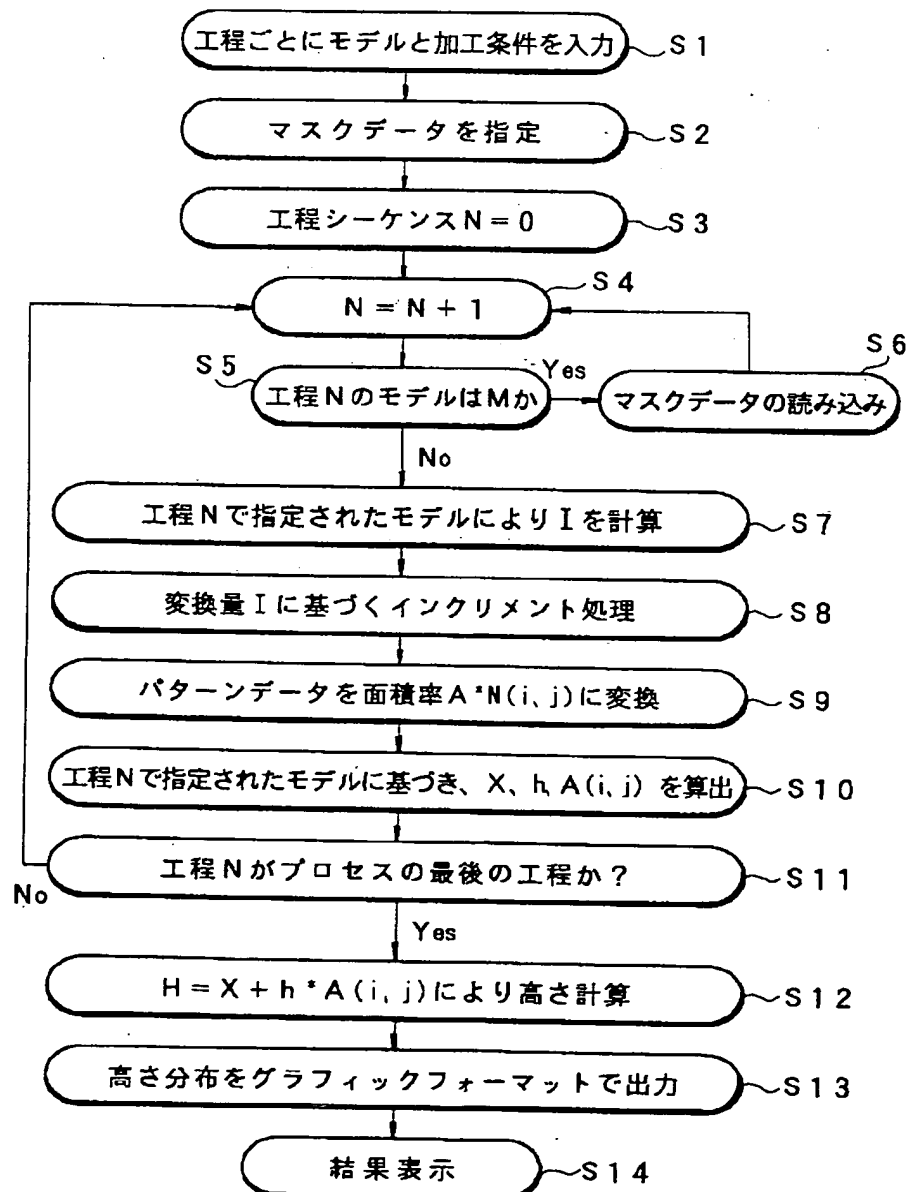
【図10】全面エッチングにおけるインクリメント量の算出を説明する図である。

【図11】塗布膜におけるインクリメント量の算出を説明する図である。

【図12】インクリメントの2次元的な効果について説明する図である。

【図13】インクリメント方法を説明する図である。

【図1】



【図2】

	mask	model	depo	etch	etch2	傾斜 角度	インクリメント	thickness	height	Area ratio	
depo	d1	X1				$\theta 1$		X1		0	0
mask	A1										0
etch	e1		Y1			$\theta 1$	$Y1 \cdot \cot \theta 1 / 2$	X1-Y1	Y1	A1(0)	
depo	d1	X2				$\theta 1$	$X2 - p2 \cdot \sin \theta 1 / (1 + \cos \theta 1)$	X1+X2-Y1	Y1	A1(0)	
Clap	e2			Z1				X1+X2-Y1-Z1	Y1	A1(n)-A1(0)-exp(-Z1-q1)+A1(0)·(1-exp(-Z1-q1))	
depo	d1	X3				$\theta 3$		X1+X2+X3-Y1-Z1	Y1	A1(n)	
mask	A2										
etch	e1		Y2			$\theta 2$	$Y2 \cdot \cot \theta 2 / 2$	X1+X2+X3-Y1-Y2-Z1	Y1+Y2	A2(0)-(A1(n)-Y1+AZ(0)-Y2)/(Y1+Y2)	
depo	d2	X4				$\theta 3$	$(X4+Y2/2) \cdot \cot \theta 3$	SUM(X1:X4)-SUM(Y1:Y2)-Z1	Y1+Y2	A2(0)	
depo	d1	X5				$\theta 3$	$X2 - p4 \cdot \sin \theta 3 / (1 + \cos \theta 3)$	SUM(X1:X5)-SUM(Y1:Y2)-Z1	Y1+Y2	A2(0)	
etch	e3			Z2		$\theta 3$	$(Z2-r1-Z2 \cdot \cos \theta 3)$	SUM(X1:X5)-SUM(Y1:Y2)-SUM(Z1:Z2)	Y1+Y2	A2(0)	
Clap	e2			Z3		$\theta 2$		SUM(X1:X5)-SUM(Y1:Y2)-SUM(Z1:Z3)	Y1+Y2	A2(n)-A2(0)-exp(-Z3-q2)+A2(n)·(1-exp(-Z3-q2))	
depo	d1	X6				$\theta 5$		SUM(X1:X6)-SUM(Y1:Y2)-SUM(Z1:Z3)	Y1+Y2	A2(n)	
mask	A3										
etch	e1		Y3			$\theta 4$	$Y3 \cdot \cot \theta 4 / 2$	SUM(X1:X6)-SUM(Y1:Y3)-SUM(Z1:Z3)	SUM(Y1:Y3)	A3(0)-(A2(n)-Y1+Y2)+A3(0)-Y3/SUM(Y1:Y3)	
depo	d2	X7				$\theta 5$	$(X7+Y3/2) \cdot \cot \theta 5$	SUM(X1:X7)-SUM(Y1:Y3)-SUM(Z1:Z3)	SUM(Y1:Y3)	A3(0)	
depo	d1	X8				$\theta 5$	$X2 - p6 \cdot \sin \theta 3 / (1 + \cos \theta 3)$	SUM(X1:X8)-SUM(Y1:Y3)-SUM(Z1:Z3)	SUM(Y1:Y3)	A3(0)	
Clap	e2			Z4		$\theta 3$		SUM(X1:X8)-SUM(Y1:Y3)-SUM(Z1:Z4)	SUM(Y1:Y3)	A3(n)-A3(0)-exp(-Z4-q3)+A3(n)·(1-exp(-Z4-q3))	

【図3】

マスク名 Sxxxx

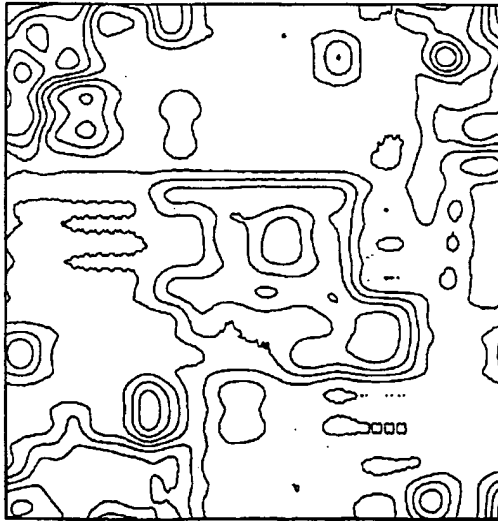
品番	image cell	resist	最大データ領域		レイヤー：インクリメント量	面積率計算ピッチ	
			X	Y		X	Y
A1	tcell	P	20mm	20mm	1:0,2:0,	100um	100um
A2	tcell	P	20mm	20mm	1:0,3:0.5,	100um	100um
A3	tcell	P	20mm	20mm	1:0,4:-0.3,	100um	100um
A4	tcell	N	20mm	20mm	1:0,5:0,	100um	100um
A5	tcell	N	20mm	20mm	1:0,6:0.8,	100um	100um
A6	tcell	P	20mm	20mm	1:0,7:0,	100um	100um
A7	tcell	P	20mm	20mm	1:0,8:1.0,	100um	100um

【図4】

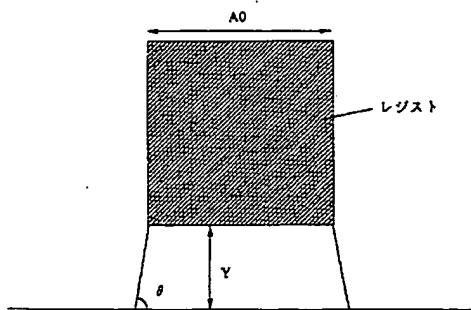
X座標 Y座標 面積率(%)

-10500.000 9900.000 0.000  
 -10400.000 9900.000 0.000  
 -10300.000 9900.000 0.000  
 -10200.000 9900.000 0.000  
 -10100.000 9900.000 0.000  
 -10000.000 9900.000 0.000  
 -9900.000 9900.000 0.000  
 -9800.000 9900.000 0.000  
 -9700.000 9900.000 0.000  
 -9600.000 9900.000 0.000  
 -9500.000 9900.000 0.000  
 -9400.000 9900.000 0.000  
 -9300.000 9900.000 0.000  
 -9200.000 9900.000 0.000  
 -9100.000 9900.000 0.000  
 -9000.000 9900.000 0.000  
 -8900.000 9900.000 8.904  
 -8800.000 9900.000 15.709  
 -8700.000 9900.000 6.073  
 -8600.000 9900.000 8.904  
 -8500.000 9900.000 15.709  
 -8400.000 9900.000 6.073  
 -8300.000 9900.000 8.904  
 -8200.000 9900.000 15.709  
 -8100.000 9900.000 6.073  
 -8000.000 9900.000 8.904  
 -7900.000 9900.000 15.709  
 -7800.000 9900.000 6.073  
 -7700.000 9900.000 0.000  
 -7600.000 9900.000 0.000  
 -7500.000 9900.000 0.000  
 -7400.000 9900.000 0.184  
 -7300.000 9900.000 0.600  
 -7200.000 9900.000 0.064  
 -7100.000 9900.000 0.184  
 -7000.000 9900.000 0.600  
 -6900.000 9900.000 0.064  
 -6800.000 9900.000 0.184  
 -6700.000 9900.000 0.600  
 -6600.000 9900.000 0.064  
 -6500.000 9900.000 0.184  
 -6400.000 9900.000 0.600  
 -6300.000 9900.000 0.064  
 -6200.000 9900.000 0.000  
 -6100.000 9900.000 0.000  
 -6000.000 9900.000 0.000  
 -5900.000 9900.000 15.120  
 -5800.000 9900.000 21.714  
 -5700.000 9900.000 0.000  
 -5600.000 9900.000 15.120  
 -5500.000 9900.000 21.714  
 -5400.000 9900.000 0.000  
 -5300.000 9900.000 15.120  
 -5200.000 9900.000 21.714  
 -5100.000 9900.000 0.000  
 -5000.000 9900.000 15.120  
 -4900.000 9900.000 21.714  
 -4800.000 9900.000 0.000

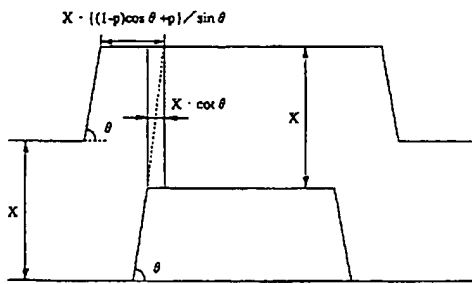
【図5】



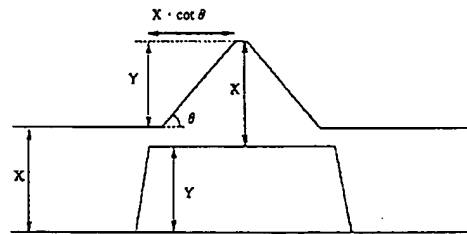
【図6】



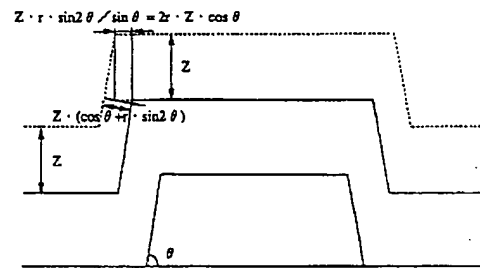
【図7】



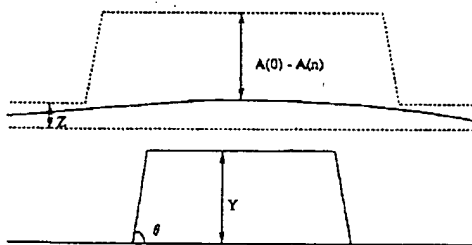
【図8】



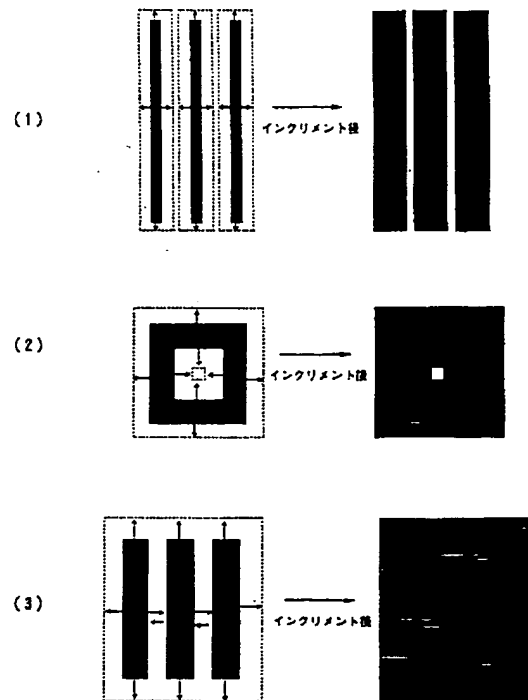
【図10】



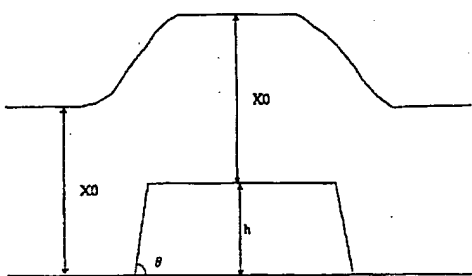
【図9】



【図12】



【図11】



【図13】

